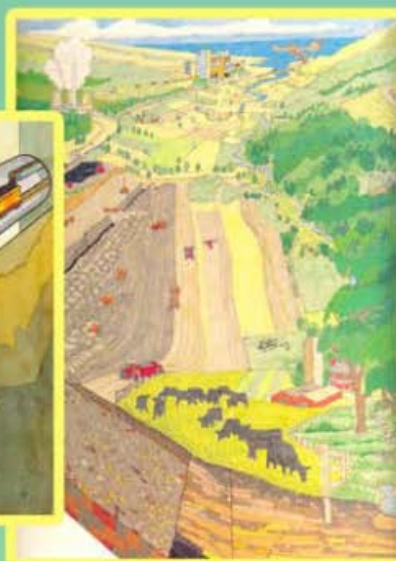
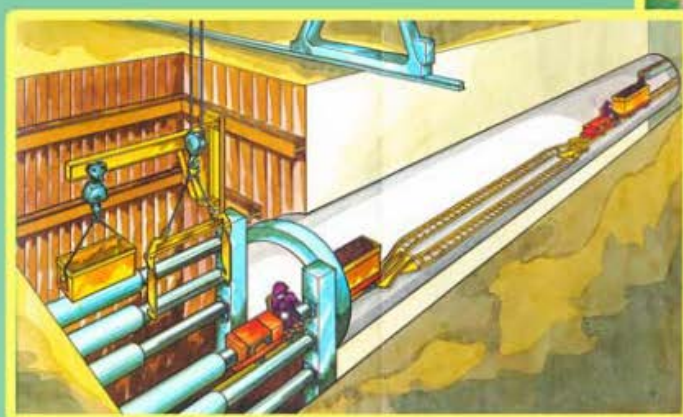


INTEGRATED INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
INTEGRISANI MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM

# TIORIR '11



**PROCEEDINGS  
ZBORNIK RADOVA**

*Volume 1, Knjiga 1*

*8th International Symposium Mine Haulage and Hoisting ISTI '11  
VIII Međunarodni simpozijum Transport i izvoz ISTI '11*

*International Symposium  
Sustainable Development of Mining and Energy Industry ORRE '11  
Međunarodni simpozijum  
Održivi razvoj rudarstva i energetike ORRE 11*

*Zlatibor,  
September 11 – 15, 2011.*

**TIORIR '11**

**INTEGRISANI MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM – ISTI, ORRE i IRSE**  
**INTEGRATED INTERNATIONAL SYMPOSIUM – ISTI, ORRE i IRSE**

September 11 – 15, 2011., Zlatibor, Hotel Mona

**8<sup>th</sup> International Symposium Mine Haulage and Hoisting ISTI '11**  
***VIII Međunarodni simpozijum Transport i izvoz ISTI '11***

**International Symposium**  
**Sustainable Development of Mining and Energy Industry ORRE '11**  
***Međunarodni simpozijum***  
***Održivi razvoj rudarstva i energetike ORRE 11***

**PROCEEDINGS**  
**ZBORNIK RADOVA**

Volume 1  
Knjiga 1

Urednik / Editor  
Prof. dr Miloš Grujić

Zlatibor,  
11 - 15. septembar 2011.

**ZBORNİK RADOVA / PROCEEDINGS**

**Knjiga I / Volume 1**

**INTEGRISANI MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM – ISTI, ORRE i IRSE**

**INTEGRATED INTERNATIONAL SYMPOSIUM – ISTI, ORRE i IRSE**

**VIII Međunarodni simpozijum Transport i izvoz ISTI '11**

**8<sup>th</sup> International Symposium Mine Haulage and Hoisting ISTI '11**

**Međunarodni simpozijum Održivi razvoj rudarstva i energetike ORRE 11**

**International Symposium Sustainable Development of Mining and Energy Industry ORRE '11**

**Urednik/Editor:** Prof. dr Miloš Grujić

**Tehnički Urednik/Technical Editor:** Doc. dr Ivica Ristović

**Recenzenti/Reviewers:** Prof. Jerzy Antoniuk, Politehnika Slaska, Gliwice, Poljska, Prof. Jan Boroška, BERG fakultet, TU Košice, Slovačka, Prof. Zoran Despodov, Rudarsko-geološki fakultet Štip, Makedonija, Prof. Carsten Drebestedt, Rudarska akademija Frajberg, Nemačka, Prof. Vladimir I. Galkin, Moskovski državni rudarski univerzitet, Rusija, Prof. Nediljka Gaurina-Međimurec, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska, Prof. Mircea Georgescu, Univerzitet Petrošani, Rumunija, Prof. Nebojša Gojković, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Prof. Horst Gondek, Vysoka škola banska, Ostrava, Češka, Prof. Miloš Grujić, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Prof. Jozef Hansel, AGH Krakow, Poljska, Prof. Monika Hardygora, Tehnički univerzitet Wroclaw, Poljska, Prof. Vencislav Ivanov, Rudarsko-geološki univerzitet Sofija, Bugarska, Prof. Ilias Nikolae, Univerzitet Petrošani, Rumunija, Akademik Borislav Jovanović, SANU Beograd, Prof. Nikolaj M. Kačurin, Turski državni univerzitet, Tula, Rusija, Prof. Božo Kolonja, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Prof. Dušan Malindžak, BERG fakultet, TU Košice, Slovačka, Prof. Daniela Marasova, BERG fakultet, TU Košice, Slovačka, Dr Miloš Milanković, Elektromreža Srbije, Prof. Lav A. Pučkov, Moskovski državni rudarski univerzitet, Rusija, Prof. Oleg N. Rusak, Međunarodna akademija nauka za ekologiju i bezbednost, Rusija, Prof. Evgenia E. Šeško, Moskovski državni rudarski univerzitet, Rusija, Prof. Miodrag Žikić, Tehnički fakultet, Bor, Doc. Ivica Ristović, Rudarsko-geološki fakultet Beograd

**Uređivački odbor/Editorial Board:** prof. dr Rudolf Tomanec, predsednik; prof. dr Dragan Ignjatović, šef Rudarskog odeljenja; prof. dr Nebojša Vidanović; prof. dr Lazar Kričak; prof. dr Dragan Đorđević; doc. dr Dejan Ivezić; doc. dr Vesna Karović-Maričić; Aleksandra Tomašević dipl.inž.rud.

**Izdavač/Publisher:** Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

**Za idavača/For publisher:** Prof. dr Vladica Cvetković

**Grafička priprema/Technical desing:** SaTCIP, Vrnjačka Banja

**Štampa/Printed by:** SaTCIP, Vrnjačka Banja

**Tiraž/Copies:** 200 primeraka

**ISBN 978-86-7352-257-9**

Publikovanje ovog zbornika radova odobreno je od strane Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

**Svi radovi u zborniku su recenzovani**

**Ovaj zbornik radova je štampan uz finansijsku pomoć Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije**

## **ORGANIZATORI/ORGANIZERS:**

UNIVERZITET U BEOGRADU, RUDARSKO - GEOLOŠKI FAKULTET  
*UNIVERSITY OF BELGRADE, FACULTY OF MINING AND GEOLOGY*

SRPSKO ODELJENJE MEĐUNARODNE AKADEMIJE NAUKA ZA EKOLOGIJU I BEZBEDNOST  
(MANEB SRBIJA)  
*SERBIAN DIVISION OF INTERNATIONAL ACADEMY OF ECOLOGY AND LIFE PROTECTION  
SCIENCES (MANEB SERBIA)*

## **SUORGANIZATORI/COORGANIZERS**

MOSKOVSKI DRŽAVNI RUDARSKI UNIVERZITET (MGGU), MOSKVA, RUSIJA  
*MOSCOW STATE MINING UNIVERSITY (MSMU), MOSCOW, RUSSIA*

BERG FAKULTET TEHNIČKOG UNIVERZITETA, KOŠICE, SLOVAČKA  
*BERG FACULTY, TECHNICAL UNIVERSITY, KOŠICE*

## **PROGRAMSKI (NAUČNI) ODBOR/SCIENTIFIC COMMITTEE:**

**Prof. Jerzy Antoniak**, Politehnika Slaska, Gliwice, Poljska, **Prof. Jan Boroška**, BERG fakultet, TU Košice, Slovačka, **Prof. Zoran Despodov**, Rudarsko-geološki fakultet Štip, Makedonija, **Prof. Carsten Drebestedt**, Rudarska akademija Frajberg, Nemačka, **Prof. Vladimir I. Galkin**, Moskovski državni rudarski univerzitet, Rusija, **Prof. Nediljka Gaurina-Medimurec**, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska, **Prof. Mircea Georgescu**, Univerzitet Petrošani, Rumunija, **Prof. Nebojša Gojković**, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, **Prof. Horst Gondek**, Vysoka škola banska, Ostrava, Češka, **Prof. Miloš Grujić**, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, **Prof. Jozef Hansel**, AGH Krakow, Poljska, **Prof. Monika Hardygora**, Tehnički univerzitet Wroclaw, Poljska, **Prof. Vencislav Ivanov**, Rudarsko-geološki univerzitet Sofija, Bugarska, **Prof. Ilias Nikolae**, Univerzitet Petrošani, Rumunija, **Akademik Borislav Jovanović**, SANU Beograd, **Prof. Nikolaj M. Kačurin**, Turski državni univerzitet, Tula, Rusija, **Prof. Božo Kolonja**, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, **Prof. Dušan Malindžak**, BERG fakultet, TU Košice, Slovačka, **Prof. Daniela Marasova**, BERG fakultet, TU Košice, Slovačka, **Dr Miloš Milanković**, Elektromreža Srbije, **Prof. Lav A. Pučkov**, Moskovski državni rudarski univerzitet, Rusija, **Prof. Oleg N. Rusak**, Međunarodna akademija nauka za ekologiju i bezbednost, Rusija, **Prof. Evgenia E. Šeško**, Moskovski državni rudarski univerzitet, Rusija, **Prof. Miodrag Žikić**, Tehnički fakultet, Bor, **Doc. Ivica Ristović**, Rudarsko-geološki fakultet Beograd

## **POČASNI ODBOR/COMMITTEE OF HONOUR**

**Goran Bojić**, generalni direktor JP PEU, Resavica, **prof. dr Vladica Cvetković**, dekan Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, **Nebojša Čeran**, direktor PD RB Kolubara, **dr Zlatko Dragosavljević**, državni sekretar, Min. živ. sr., rudarstva i prost. plan., Beograd, **Dragan Jovanović**, direktor PD TEKO Kostolac, **Dragomir Marković**, gen. direktor EPS, **dr Miloš Milanković**, gen. direktor EMS

## **ORGANIZACIONI ODBOR/ORGANIZING COMMITTEE:**

**Prof. Miloš Grujić**, RGF Beograd (predsednik), **Doc. Ivica Ristović**, RGF Beograd (potpredsednik), **Doc. Gabriel Fedorko**, TU Košice (potpredsenik), **Doc. Olga E. Šeško**, MGGU Moskva (potpredsednik), **Prof. Dragoslav Kuzmanović**, Saobraćajni fakultet Beograd, **Doc. Dejan Mirakovski**, RGF Štip, **Doc. Tatjana Sviridova**, TulGU Tula, **Doc. Vierošlav Molnar**, TU Košice, **Dr Ljubodrag Ristić**, Balkanološki institut SANU, Beograd, **Dragana Erdeljan**, Min. živ. sr., rud. i prost. plan., Beograd, **Miroslav Ivković**, TEKO Kostolac, **Mihajlo Gavrić**, EPS Beograd, **Milan Stojaković**, RB Kolubara Lazarevac, **Radivoje Milanović**, EPS Beograd, **Vukica Popadić Njunjić**, RB Kolubara Lazarevac, **Žika Jovanović**, EMS Beograd, **Gordana Tomašević**, RB Kolubara Lazarevac, **Branislav Pajić**, RB Kolubara Lazarevac, **Dragomir Zečević**, JP PEU Resavica, **Momčilo Momčilović**, TEKO Kostolac, **Velibor Popović**, TEKO Kostolac, **Mirjana Uzelac**, EMS Beograd, **Miliša Jovanović**, EMS Beograd, **Zdravko Zarić**, JP PEU Resavica, **Katarina Ralović**, RGF Beograd.

## APPLICATION OF ARENA COMPUTER PROGRAM FOR COMPUTER SIMULATION OF THE UNDERGROUND MINE TRANSPORT

### PRIMENA KOMPJUTERSKOG PROGRAMA ARENA ZA KOMPJUTERSKU SIMULACIJU PODZEMNOG RUDNIČKOG TRANSPORTA

**Zoran Despodov, Goran Pop-Andonov, Stojanče Mijalkovski**

*Univerzitet "Goce Delčev", Institut za rudarstvo, Fakultet za prirodni i tehnički nauki, Štip, R. Makedonija*

**Abstract:** *This paper presented the application of the ARENA computer program to simulate underground mine transport in a hypothetical mine for underground excavation of metallic minerals. A simulation of the model that simulates the real transport process of the raw ore material between two main transportation levels, connected with a central ore bunker, was made. At a higher level, raw ore from the central ore pass for single block is transported by the rail transportation system to the central bunker, and at a lower level, raw ore from ore bunkers is exported to the surface by the underground mine trucks.*

**Key words:** *Arena, underground mining transportation, computer simulation.*

**Apstrakt:** *U radu je prezentovana primena kompjuterskog programa ARENA za simulaciju podzemnog rudničkog transporta u hipotetičkom rudniku za podzemnu eksploataciju metaličnih mineralnih sirovina. Urađen je simulacioni model koji simulira realni transportni proces rovne rude između dva glavna transportna horizonata, povezanih jednim centralnim bunkerom. Na višem horizontu, šinskim transportom rovna ruda sa blokovske rudne sipke se prevozi do centralnog bunkera, a na nižem horizontu, ruda sa centralnog bunkera se jamskim kamionima izvozi na površinu.*

**Ključne reči:** *Arena, podzemni rudnički transport, kompjuterska simulacija.*

#### 1. UVOD

Kompjuterska simulacija je jedan snažni alat koji može biti iskorišćen kod projektovanja novih rudnika i smanjenja proizvodnih troškova postojećih rudnika. U početku (1960. god.), kompjuterska simulacija je primenjivana kod analize procesa i njena je primena uglavnom bila ograničena na proizvodne i procesne industrije, međutim danas se uspešno upotrebljava i kod rešavanja rudarskih problema.

Tokom godina razvili su se brojni simulacioni softveri koji mogu uspešno raditi na PC kompjuterima. Kao primer softvera za simulaciju diskretnih događaja navešćemo sledeće: AutoMod, GPSS, Witness, Extend, Promodel, SimPRO, Talpac i Arena. Cena simulacionih softvera je veoma različita i u glavnom zavisi od njihove jačine i vrste grafičke animacije, tako da se ona kreće u rangu od 500 do 15.000\$. U svakom slučaju, mora se izvršiti određena procena, sa ciljem da se uporede troškovi simulacionog alata i nivo uštede u samoj proizvodnji koji će se postići primenom ovog softvera. Na primer, ako jedan softverski alat košta 15.000\$ zajedno sa troškovima za pripremu simulacionog modela i njime se dobija ušteda ili znatno povećava produktivnost izrade jednog komada opreme koja košta 500.000\$, evidentno je da je investicija veoma isplativa. Ako ovome dodamo da se pomoću simulacije mogu predvideti problemi u proizvodnom ciklusu, uštede koje se na ovaj način postižu su nemerljive. Na ovaj način, rešavanjem problema "na papiru", izbegava se rešavanje problema u samom proizvodnom procesu podzemne eksploatacije, odnosno tokom procesa povećavanja proizvodnog kapaciteta.

Kompjuterska simulacija predstavlja jednu vrstu kombinacije kompjuterskog-simulacionog modela nekog realnog ili planiranog procesa ili sistema. Simulacioni model omogućava jednom inženjeru da proceni ponašanje sistema ili procesa pod različitim uslovima u realnim događajima, a takođe:

- da omogući inženjeru da izvede određene zaključke u vezi novih sistema pre njihove izgradnje ili uradi određene promene na već postojećim sistemima bez da ih poremeti ili naruši,
- da omogući menadžeru da vizualizuje rad novog ili postojećeg sistema pod različitim uslovima, zajedno utiču na performanse celog sistema,
- obezbeđuje generalni uvid u prirodu jednog procesa ili sistema,
- pomaže u razvijanju konkretnih pravaca ili planova jednog procesa,
- dozvoljava testiranje novih koncepata ili sistema pre nego što se oni implementiraju,
- povećava efikasnost sistema, itd.

Kompjuterski simulacioni modeli sastoje se iz dva glavna elementa: logičkog programa i grafičke animacije. Logički program je komplet komandi koje izvršavaju simulaciju. Primera radi, jedan logički element kod simulacionog modela jamskog kamiona mora uključiti sve faze transportnog procesa: fazu utovara, fazu čistog transporta, fazu manevrisanja i fazu istovara materijala. Drugi logički element mora sadržati određene konfliktorne komande da bi se simulacija mogla odvijati. Recimo, ako dva kamiona pristižu na istu mimoilaznicu, u istom trenutku, koji će kamion imati prioritet za prolazak? Model može dati prioritet utovarenom, praznom ili kamionu koji je prvi stigao na mimoilaznicu. Logika mora biti izričita u modelu.

Grafička animacija – I pored toga što statistički izlazni podaci simulacionog modela opisuju o događaj u brojkama, animacija koja se stvara simulacionim modelom omogućava inženjeru da vizualizuje rad procesa ili sistema na kompjuterskom ekranu. On može videti rad sistema u realnom vremenu i u kraćem vremenu videti međusobne uticaje elemenata sistema. Regstrujući uzroke međusobnih uticaja komponenti sistema, model omogućuje projektantu da razvije optimalna rešenja kako bi se izbegle konfliktne situacije.

U daljem tekstu ovoga rada je prezentovana primena kompjuterskog programa ARENA za simulaciju podzemnog rudničkog transporta u hipotetičkom rudniku za podzemnu eksploataciju metalčnih mineralnih sirovina.

## **2.OPIS PROBLEMA PODZEMNOG RUDNIČKOG TRANSPORTA**

U rudniku za podzemnu eksploataciju metalčnih mineralnih sirovina odminirana ruda se, sa otkopa, utovarno-transportnim mašinama na dizel pogon odvozi do blokovske rudne sipke. Iz blokovske sipke ruda se šinskim transportnim sistemom transportuje u centralni bunker, kapaciteta 2000t, koji je lociran centralno u rudnom ležištu. U bunkeru se rovna ruda skladišti, u cilju ujednačavanja transportnih kapaciteta. Ovaj bunker povezuje viši i niži transportni horizont. Na donjem horizontu, ruda se iz bunkera sa dva ispusna otvora toči u jamske kamione na dizel pogon. Dalje se ruda sa jamskim kamionima kroz glavni izvozni potkop transportuje do istovarne stanice na površini, gde se vrši istovar kamiona u prijemni bunker za primarno drobljenje i dalji tretman rude.

Ulazni parametri podzemnog rudničkog transporta su:

- Nosivost jamskih kamiona = 20 t,
- Prosečna brzina kretanja kamiona = 8 km/h,
- Broj kamiona u jednovremenom radu = 2 kamiona,
- Nosivost voza = 50 t,
- Maksimalni kapacitet glavnog bunkera = 2000 t,
- Maksimalni protok rovne rude kod istovara voza u glavni bunker=32 t/h,
- Maksimalni protok rovne rude kroz ispusne otvore glavnog bunkera = 500 t/h,
- Vreme međudolaska voza na istovarni punkt glavnog bunkera je slučajna veličina,
- Vreme međudolaska kamiona na istovarne punktove je takođe slučajna veličina.

U glavni bunkeru su ugrađena dva senzora koji registruju stanje ispunjenosti bunkera - jedan koji javlja da je bunker pun (tzv. "Yard full") i voz mora da čeka na istovar i drugi senzor koji registruje da je iz bunkera istočena ruda u količini od 1500t, te da se bunker ponovo može puniti (tzv. "Space available sensor").

### 3. OPIS SIMULACIONOG MODELA PODZEMNOG RUDNIČKOG TRANSPORTA

Simulacioni model je urađen u simulacionom softveru Arena, koji vrši kompjutersku simulaciju podzemnog rudničkog transporta, i sastoji se iz tri elementa:

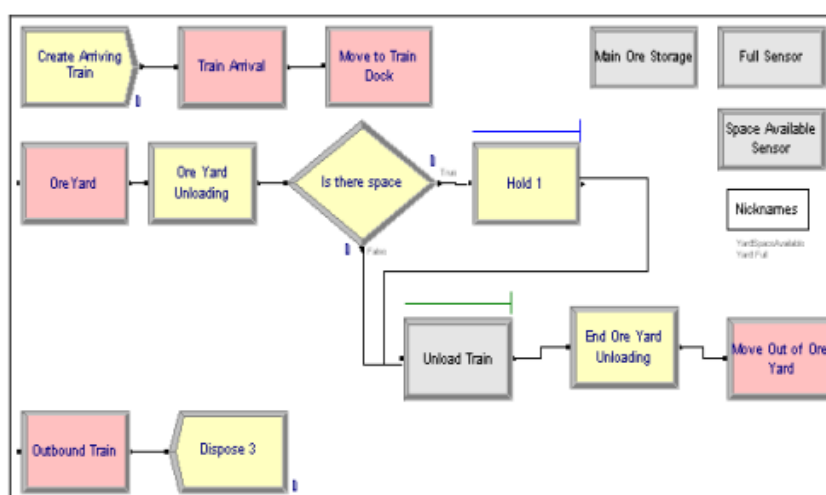
- logički program za istovar vozova u glavni bunker,
- logički program za utovar jamskih kamiona iz glavnog bunkera i
- program za grafičku animaciju podzemnog rudničkog transporta.

Kompjuterska simulacija sistema podzemnog rudničkog transporta je izvršena jednom replikacijom u trajanju od 5 radnih dana, s obzirom na činjenicu da se radi o akademskoj verziji softvera Arena koja ima određeni vremenski limit. U daljem tekstu će biti detaljnije opisani elementi simulacionog modela.

#### 3.1. Logički program za istovar vozova u glavni bunker

Logički program za istovar vozova u glavni bunker je prikazan na slici br.1. Ovaj se logički program sastoji iz sledećih komandi:

- Create Arriving Train – Ovim modulom je kreiran entitet kompozicija voza koje pristižu konstantno, na svaki sat, na istovarni punkt, beskonačni broj puta.
- Train Arrival – Početna stanica pristizanja vozova, koji su ranije utovareni na više utovarnih mesta, odnosno rudnih sipki.
- Move to Train Dock – Put koji treba da pređu vozovi da bi došli u sledeću stanicu t.j. na mesto istovara.
- Ore Yard – Lokacija gde se vrši istovar rovne rude iz vozova (glavni bunker).
- Ore Yard Unloading – Mesto gde puni vozovi čekaju na istovar.
- Is There Space (Decide) – Postavlja se uslov da li je glavni bunker pun ili nije. Ukoliko je bunker puni vozovi čekaju u redu, u Hold modulu, sve do trenutka kada se oslobodi prostor za istovar rovne rude.
- Unload Train – Kada se oslobodi prazan prostor u glavnom bunkeru, počinje istovar vozova, sa kapacitetom punjenja od 32 t/h.



Slika 1 Logički program za istovar vozova u glavni bunker

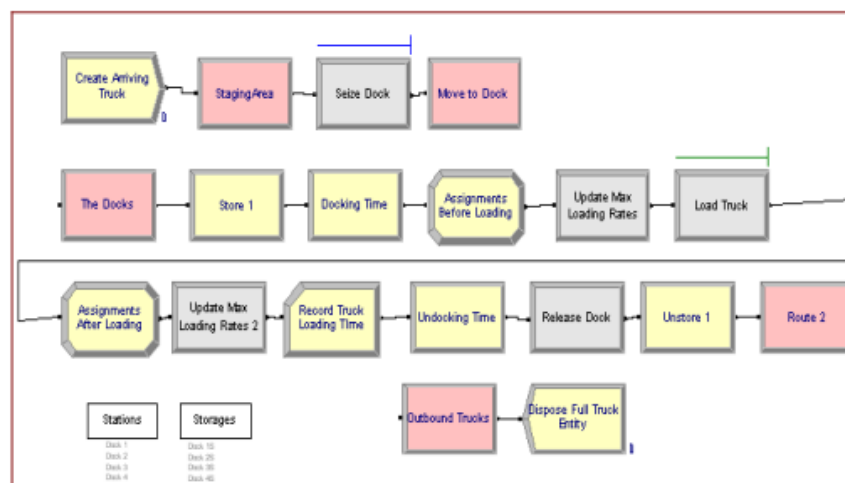


- End Ore Yard Unloading – Prekida se operacija istovara rude i vozovi se oslobađaju iz stanice - tačke istovara.
- Move out of Ore Yard – Određuje se trasa kretanja vozova koji su istovareni i idu od glavnog bunkera.
- Outbound Train – To je stanica gde pristižu prazni vozovi.
- Dispose 3 – Vršiti se oslobađanje entiteta – voza.
- Main Ore Storege – Određuju se kapacitet glavnog bunkera pomoću senzora i početno stanje popunjetosti sa rudom.

### 3.2. Logički program za utovar jamskih kamiona iz glavnog bunkera

Logički program za utovar jamskih kamiona iz glavnog bunkera je prikazan na slici br. 2. Ovaj se logički program sastoji iz sledećih komandi:

- Create Arriving Truck – kreiranje entiteta – dolazak jamskih kamiona na utovarne punktove. Kamioni dolaze jedan za drugim, beskonačni broj puta.
- Staging Area – Stanica gde dolaze kamioni – utovarni punkt.
- Seize Dock – Entitet obuhvata mesto utovara i regulator koji kontroliše protok rude kod utovara u kamion.
- Move to Dock – Put ili trasa kojom mora proći transportna jedinica da bi stigla na utovarni punkt.
- The Docks - određuje lokacije gde će se vršiti utovar transportnih jedinica, odnosno jamskih kamiona.
- Store 1 – Mesto uskladištenja entiteta, odnosno stanica kamiona koji čekaju na utovar.
- Docking Time – Vreme pristizanja transportnih jedinica do mesta utovara-bunkera.
- Assignments before Loading – Uslovi koji se zadaju prije nego što se kamioni utovare (tada se zadaje i nosivost jamskih kamiona).
- Update Max Loading Rates – zadaje se maksimalni protok rude iz bunkera kod utovara u kamione.
- Load Truck – Vršiti se utovar rude u kamione.
- Assignments After Loading- Zadaju se uslovi nakon utovara u kamione.
- Update Max Loading Rates – obnavljanje maksimalnih kapaciteta utovara rude u kamione koji čekaju red za utovar.
- Record Truck Loading Time – upisivanje vreme utovara kamiona.
- Undocking Time – Određuje se vreme udaljavanja kamiona sa mesta utovara.
- Release Dock – Oslobađanje utovarnog punkta.
- Unstore 1 – Oslobađanje kamiona iz stanice čekanja reda.
- Route 2 – Određivanje trase kretanja kamiona do sledeće destinacije, odnosno istovarne stanice, kod prijemnog bunkera za primarno drobljenje rude.
- Outbound Trucks – Upućuje kamione do istovarne stanice – prijemnog bunkera na površini.
- Dispose Full Truck Entity – Oslobađa entitete – transportne jedinice i izračunava statističke podatke istih.



Slika 2 Logički program za utovar rude u jamske kamione iz glavnog bunkera



Grafička animacija simulacionog modela podzemnog rudničkog transporta je prikazana na slici br.3.



Slika 3 Grafička animacija simulacionog modela podzemnog rudničkog transporta

#### 4. REZULTATI DOBIJENI PRIMENOM KOMPJUTERSKE SIMULACIJE PODZEMNOG TRANSPORTA

Aktiviranjem kompjuterske simulacije podzemnog rudničkog transporta program Arena izvršava sledeće statističke analize:

- statističku analizu vremena i troškova svih entiteta u sistemu (vozova i kamiona),
- statističku analizu troškova iskorišćenja svih resursa,
- statističku analizu vremena i troškova čekanja entiteta u redovima,
- statističku analizu iskorišćenja glavnog bunkera i
- statističku analizu vremena utovara jamskih kamiona.

Standardni Arena izveštaji daju statistiku za svaku replikaciju pojedinačno. Međutim, rezultati simulacije se mogu prikazati i kao SIMAN izlazni raporti po kategorijama. S obzirom na njihov veliki broj, u daljem tekstu su prikazani samo neki karakteristični izlazni parametri simulacije podzemnog transporta.

- Ukupan broj ulaznih entiteta za 5 radnih dana:
  - 29 ulaznih jedinica - vozova
  - 90 ulaznih jedinica - kamiona
- Ukupan broj izlaznih entiteta za 5 radnih dana:
  - 28 izlaznih jedinica - vozova
  - 87 izlaznih jedinica - kamiona
- Ukupan broj entiteta koje se koriste u ciklusu za 1 radni dan:
  - 2 jedinice - vozova
  - 9 jedinica - kamiona
- Srednja vrednost vremena čekanja kamiona za jedan radni dan: 0.015 h
- Maksimalna vrednost troškova čekanja kamiona na uslugu bunkera za 5 radnih dana: 107.37\$/h
- Srednja vrednost troškova čekanja kamiona: 6.52\$
- Maksimalna količina rude u bunkeru: 1543 t
- Srednja vrednost količine rude u bunkeru: 1415 t
- Ukupni prirastaj rude za 5 radnih dana: 1400 t
- Ukupno transportovana ruda iz bunkera za 5 radnih dana: 1719 t
- Srednje vreme utovara kamiona: 0.044 h/dan

- Srednje vreme transfera kamiona od utovarnog do istovarnog punkta: 0.58h
- Ukupni maksimalni troškovi rada kamiona za 5 radnih dana: 789.24\$
- Srednja vrednost troškova rada kamiona: 378.38\$
- Ukupni maksimalni troškovi transfera kamiona od utovarnog do istovarnog punkta, za 5 radnih dana: 3828\$
- Srednji troškovi transfera kamiona od utovarnog do istovarnog punkta, za 5 radnih dana: 3632\$
- Ukupni troškovi procesuiranja kamiona kod izvršavanja radnih zadataka: 5705\$
- Ukupni maksimalni troškovi procesuiranja voza za jedan sat radnog vremena: 1129\$ i ost.

## 5. ZAKLJUČAK

Simulaciona studija predstavlja efikasni alat za analizu vremena i troškova kod rudničkog transporta, imajući u vidu da se radi o dinamičkim sistemima koji menjaju svoje parametre tokom vremena. Deterministički način određivanja vremena, kapaciteta i troškova je limitiran, tako da se u tu svrhu sve više primenjuju kompjuterske simulacije novih i postojećih realnih procesa. Najveći problem kod izrade simulacionog modela jeste prikupljanje relevantnih podataka realnih sistema koje oduzima veliki broj radnih sati. U našem primeru, za određivanje raspodele vremena međudolaska vozova i kamiona korišćeni su snimljeni podaci iz sličnih transportnih sistema, tako da je usvojena Poasonova raspodela vremena međudolaska vozova i kamiona. Ovaj rad predstavlja samo jedan pokušaj i podsticaj istraživačima da uporno rade na ovom, veoma aktuelnom i značajnom polju primene kompjuterske simulacije u rešavanju rudarskih problema.

## LITERATURA

- [1] Atliok, T. and B. Melamed.: *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*, Rutgers University Piscataway, New Jersey, 2007.
- [2] Pop-Andonov, G.: *Simulaciono modeliranje i analiza pri podzemnom rudničkom transportu*, magisterska radova (neobjavljena), FPM-UGD Štip, 2010.
- [3] Radenković, B. Stanojević, M. Marković, A.: *Računarska simulacija*, udžbenik, FON i Saobraćajni fakultet, Beograd, 1999.
- [4] Runciman, N.: *A preliminary study of tramming speeds in multiple tele-operated load-haul-dump scenarios using QUEST*, Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference B.A. Peters, J.S. Smith, D.J. Medeiros, and M.W. Rohrer, eds.